

퍼지논리를 이용한 로봇 매니플레이터의 다변수제어

Multivariable Control of Robot Manipulators Using Fuzzy Logic

°이 현 철*, 한 상 완*, 홍 석 교*

*아주대학교 제어계측공학과 (Tel: 0331-219-2489; Fax: 0331-212-9531; E-mail: g9509005@madang.ajou.ac.kr)

Abstract This paper presents a control scheme for the motion of a 2-DOF robot manipulator. Robot manipulators are multivariable nonlinear systems. Fuzzy logic is available human-like control without complex mathematical operation and is suitable to nonlinear system control. In this paper, Implementation of fuzzy logic control of robotic manipulators shows. Algorithm has been performed with simulation packages MATRIXx and SystemBuild.

Key words 2-DOF Manipulator, Fuzzy Logic Control, Manipulator Control, Human-like Control Multivariable Nonlinear System,

1. 서론

자동화가 이루어진 공장에서 생산성과 제품의 질은 생산공정에서의 정확도에 크게 의존한다. 로봇은 생산공정의 자동화에 가장 큰 기여를 하고 있는 것 중의 하나이다. 이 로봇의 제어성능이 생산공정의 정확도와 정밀성에 크게 기여한다. 각종 산업 현장에서 사용하고 있는 로봇 매니플레이터는 각 링크와 링크사이 가 간접된 복잡한 구조의 비선형 다변수 시스템이다. 로봇의 제어를 위해 전제조건이라고 말할 수 있는 제어대상의 수학적 모델을 정확히 구하기는 쉽지 않다.[1][2] 또한 얻었다 해도 실제와의 모델링 오차는 생기기 마련이기 때문에 수학적 모델로 설계한 제어가 실제 환경에서 설계성능을 만족하지 못하는 경우가 많다. 이런 점을 인식하여 모델링 오차를 고려한 강인한 제어기에 관한 연구가 있었다. 그후 파라미터 감도의 영향분석의 난해함과 작업 환경의 다양함에 의한 현실적 적용에 따르는 문제점을 극복하기 위해서 적응제어(Adaptive control), 가변구조제어(Variable Structure control), 신경회로망(Neural Network) 등의 다양한 제어이론이 개발되어 재조명되고 있다.[3] 그러나 이러한 제어 이론들은 많은 계산량이나 다양한 변화에 쉽게 대처하는 능력이 부족함으로 인해 활용의 유연성이 줄어들었다.[6]

최근 많은 분야에서 복잡한 수학적 연산을 수행하지 않고 인간의 사고처럼 제어를 수행하는 지능제어기법에 대한 연구가 활발하게 진행되어 오고 있다. 여러 지능제어 기법중에서도 퍼지 제어는 많은 분야에 걸쳐 관심을 끌고 있다. 퍼지논리 제어기는 사람의 생각과 지식을 언어적으로 표현하기 쉬운 전문가의 지식과 숙련자의 노하우를 바탕으로 지식베이스를 구축하여 많은 수학적 연산 없이 실제적인 제어에 응용이 용이하다. 또한 시스템에 대한 정확한 모델링없이 시스템의 응답에 대한 기본적인 정보만으로도 제어가 가능하여 비선형시스템의 제어에 적합하며 구현이 쉬워서 실용적인 면에까지 장점이 많다.[4][5]

본 논문에서는 퍼지논리를 이용하여 2축 다관절 로봇 매니플레이터의 제어를 설계하며 시뮬레이션을 통하여 이의 타당성을 보인다.

2. 퍼지제어기

2-1 일반적인 퍼지제어기

일반적인 퍼지제어기의 구성은 그림과 같다.

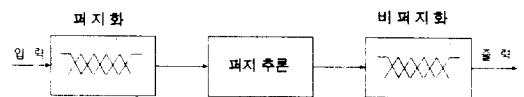


그림 1. 일반적인 퍼지 제어기 구성

Fig 1 Fuzzy Logic Controller

먼저 Crisp값을 소속함수(Membership Function)에 의해서 퍼지변수로 바꾸어 퍼지논리와 퍼지추론에 의해서 결과를 도출해 낸다. 추론 결과 값은 퍼지변수 이므로 비퍼지화에 의해 실제에서 필요로 하는 Crisp값으로 출력한다.

일반적으로 퍼지 추론은 다음과 같은 IF-THEN에 의해 이루어진다.

- Rule 1: If A1 and B1 Then C1
- Rule 2: If A2 and B2 Then C2

Rule n: If An and Bn Then Cn

Fact : If x_0 and y_0

Then C'

x_0 이고 y_0 이라는 사실로부터 추론 결과 C_i 는 퍼지규칙 A_i 이고 $B_i \rightarrow C_i$ 로 되어 다음과 같이 나타내어진다.

$$\mu_{C_i}(z) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}(z_0) \text{ 다.}$$

2-2 퍼지로지 제어기

본 논문에서는 로봇의 제어를 위해서 입력변수로서 위치오차와 속도오차를 사용한다. 두 값으로부터 퍼지추론에 의해서 제어입력을 설정한다.

$$\begin{aligned} \text{위치오차} &= \text{지령값} - \text{실제값} \\ \text{속도오차} &= \text{지령속도} - \text{실제속도} \end{aligned}$$

이것을 위치형 제어규칙이라고도 하는데 그 이유는 추론결과가 곧 바로 조작량이 되기 때문이다. 이 제어 규칙이 가지고 있는 의미를 보면 속도오차의 경우 오차의 변화량이 되어 앞으로 오차가 전개될 방향이 되고 오차는 현재의 상태이므로 현재와 미래상태를 바탕으로 조작량을 유추하는 것임을 알 수 있다.[5]

본 논문에서 입력변수를 퍼지화 하기 위해 사용한 소속함수 (Membership Function)는 다음과 같다.

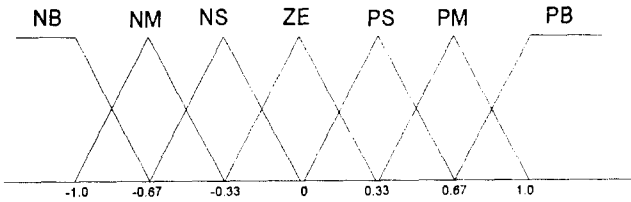


그림 2. 전진부의 소속함수
Fig 2. Input Membership Function

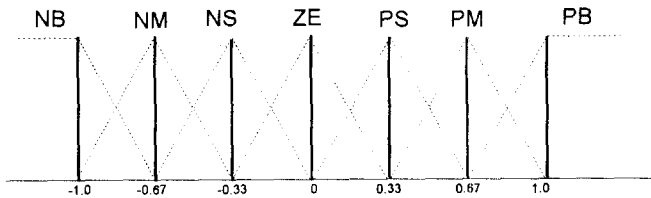


그림 3. 후진부의 소속함수
Fig 3. Output Membership Function

출력값에 대한 소속함수는 그림과 같이 Singleton 형태를 취한다. 입력값 위치오차와 속도오차로부터 출력을 추론하기 위한 퍼지규칙은 아래와 같다.

표 1. 퍼지규칙
Table 1. Fuzzy Rule Base

위치 오차 \ 속도 오차	속도 오차						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NS	NS	ZE	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	NS	PS
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PS	PM	PM	PB	PB

각 퍼지 언어값의 의미는

- PB : Positive Big
- PM : Positive Medium
- PS : Positive Small
- ZE : Zero
- NS : Negative Small
- NM : Negative Medium
- NB : Negative Big

와 같다.

위와 같은 퍼지 규칙으로부터 Mamdani가 사용한 최대-최소 합성추론방식에 의해 결과를 추론해 낸다.

$$\mu_u(u) = \max\{\sum \min[\mu_e(e), \mu_{ce}(ce), \mu_{R(e, ce, u)}(e, ce, u)]\}$$

e : 위치오차, ce : 속도 오차, u : 출력값

추론결과로부터 비퍼지화하는 방법은 비교적 연산속도가 빠르고 계산과정이 단순한 무게 중심법을 채택하였다.

$$u = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_i \cdot w_i}{\sum_{i=0}^n \mu_i}$$

3. 시뮬레이션

로봇의 동력학식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) &= \tau \\ N(q, \dot{q}) &= V(q, \dot{q}) + G(q) \end{aligned}$$

M(q) : 관성 행렬

V(q) : 전향력 및 구심력 관련행렬

G(q) : 중력 관련 행렬

τ : 제어입력 토크 벡터

앞에서 제안한 퍼지논리 제어기의 구현을 위해 시뮬레이션에 사용한 로봇의 모델은 그림과 같이 2자유도를 갖는 로봇 매니퓰레이터이다.

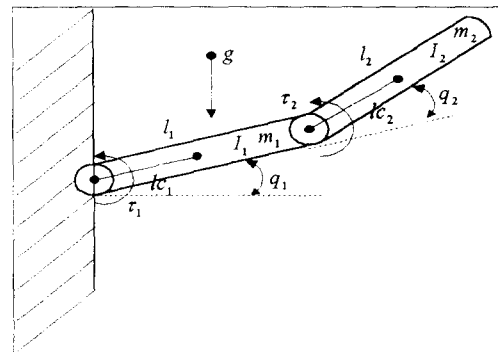


그림 4. 2축 로봇 매니퓰레이터
Fig 4. 2-DOF Robot Manipulator

2축 각각에 대한 오차와 오차의 변화율 즉, 위치오차와 속도오차로부터 퍼지추론을 하여 각 축에 대한 토크를 계산한다.

제어기의 구현은 MATRIXx의 SystemBuild에 있는 RT/Fuzzy Logic Block을 이용하여 앞에서 제시한 퍼지변수와 퍼지 제어 규칙을 이용하여 이루어졌다. 2 축 로봇 매니플레이터를 대상으로 각 조인트 1, 2에 대해 각기 50° 씩 이동하는 모션에 대해 위치 추종을 살펴보았다. 시뮬레이션 프로그램은 X-Windows환경에서 MATRIXx 3.0을 이용하여 수행하였다.

아래는 SystemBuild상의 퍼지논리제어기에 의한 전체 로봇 제어시스템의 블록도이다.

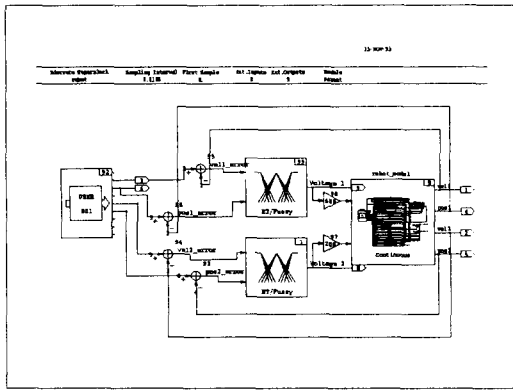


그림 5. 퍼지제어기 시스템 블록도
Fig 5. Fuzzy Logic Controller System Block Diagram

각 축의 주어진 위치지령에 대해 각 조인트의 실제 위치추종을 나타낸 것이다.

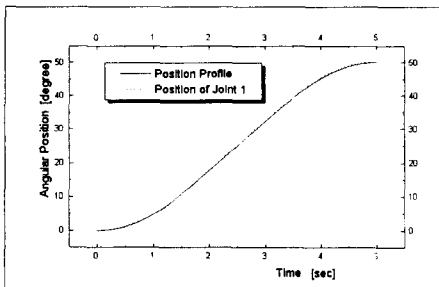


그림 6. 조인트 1의 위치추종
Fig 6. Position Tracking of Joint 1

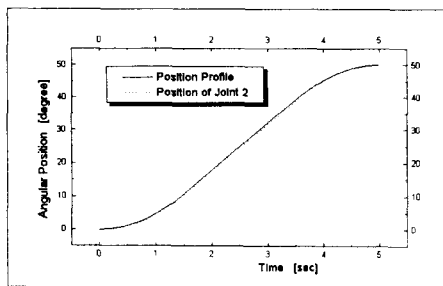


그림 7. 조인트 2의 위치 추종
Fig 7. Position Tracking of Joint 2

위치 추종을 보면 그림에서 추종오차가 거의 없이 잘 따라가고 있음을 볼 수 있다. 각 조인트의 위치오차 그림을 보면 오차가 최고 $\pm 0.7^\circ$ 이내에 있다.

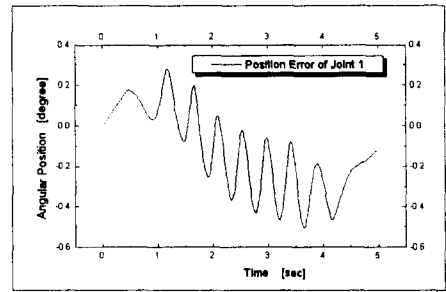


그림 8. 조인트 1의 위치오차
Fig 8. Position Error of Joint 1

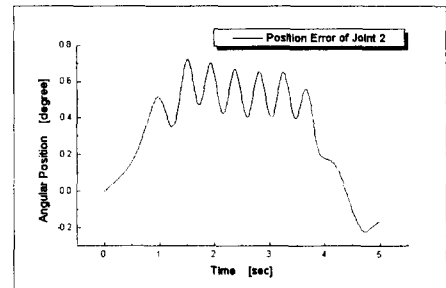


그림 9. 조인트 2의 위치 오차
Fig 9. Position Error of Joint 2

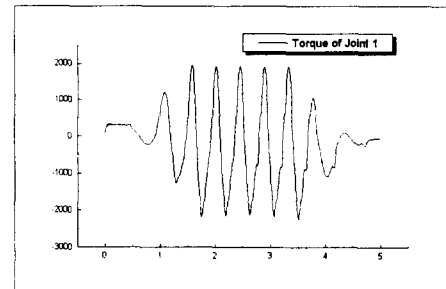


그림 10. 조인트 1의 토오크 입력
Fig 10. Torque Input of Joint 1

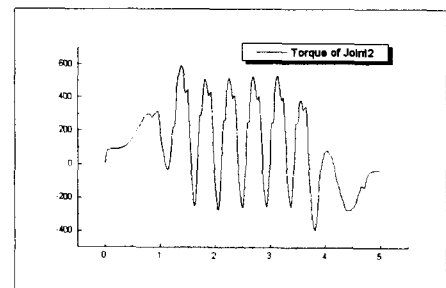


그림 11. 조인트 2의 토오크 입력
Fig 11. Torque Input of Joint 2

5. 결론

본 논문에서는 2축 로봇 매니퓰레이터의 제어를 위해 퍼지 로직을 이용하는 기본적인 알고리즘을 제시하고 이의 타당성을 위해 MARIXx의 SystemBuild를 이용하여 구현하여 보았다. 복잡한 수학적 계산없이도 간단한 퍼지규칙에 의해 기본적인 정보만으로 로봇의 제어를 실현할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 장점에 반하여 퍼지의 소속함수 결정이나 제어규칙 및 입출력의 이득은 제어기의 성능에 상당한 영향을 미친다. 이 부분의 설정에 있어서 많은 시행착오노력이 있게 되는데 개선된 자동동조알고리즘 및 제어전략이 연구되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] Clarence W. de Silva, "Application of Fuzzy Logic in the Control of Robotic Manipulators", Fuzzy Sets and Systems vol 70, pp 223-234, 1995
- [2] K.Erbatur, O.Kaynak, I.Rudasl, "A Study of Fuzzy Schemes for Control of Robotic Manipulators", IECON'95 Intl.Conf.on Industrial Electronics, Control, and Inst. pp.63-68, 1995
- [3] F.L.Lewis, C.T.Abdallah,D.M.Dawson, *Control of Robot Manipulators*, Macmillan,Inc, New York, 1993
- [4] F.M.McNeil, *Fuzzy Logic a practical approach*, Academic Press, 1994
- [5] M.Mizumoto,"Realization of PID controls by fuzzy control methods", Fuzzy Sets and Systems vol 80, pp171-182,1995
- [6] M.Tarokh,H.Seraji, "A Multivariable Control Scheme for Robot Manipulators", Journal of Robotic Systems vol 8(1), pp.1-19, 1991